



ADAMS & WILKS

ATTORNEYS AND COUNSELORS AT LAW
50 BROADWAY
31st FLOOR
NEW YORK, NEW YORK 10004

BRUCE L. ADAMS
VAN C. WILKS

JOHN R. BENEFIEL
PAUL R. HOFFMAN
TAKESHI NISHIDA
FRANCO S. DE LIGUORI

*NOT ADMITTED IN NEW YORK
*REGISTERED PATENT AGENT

RIGGS T. STEWART
(1924-1993)

TELEPHONE
(212) 809-3700

FACSIMILE
(212) 809-3704

APRIL 26, 2004

COMMISSIONER FOR PATENTS
Washington, DC 20231

Re: Patent Application of Toshiaki KAWASHIMA et al.
Serial No. 10/803,775 Filing Date: March 18, 2004
Examiner: Group Art Unit:
Docket No. S015-5122

S I R:

The above-identified application was filed claiming the right of priority based on the following foreign application(s).

- | | | |
|---|-------|----------------|
| 1. Japanese Patent Appln. No. 2003-075308 | filed | March 19, 2003 |
| 2. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 3. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 4. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 5. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 6. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 7. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 8. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 9. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 10. Japanese Patent Appln. No. | filed | |
| 11. Japanese Patent Appln. No. | filed | |

Certified copy(s) are annexed hereto and it is requested that these document(s) be placed in the file and made of record.

MAILING CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: COMMISSIONER OF PATENTS & TRADEMARKS, Washington, DC 20231, on the date indicated below.

DEBRA BUONINCONTI

Name

Debra Buoninconti

Signature

APRIL 26, 2004

Date

BLA:db
Enclosures

Respectfully submitted,

ADAMS & WILKS
Attorneys for Applicant(s)

By:

Bruce L. Adams
Reg. No. 25,386

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 1 9 日
Date of Application:

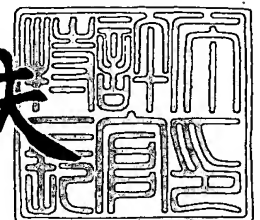
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 7 5 3 0 8
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 7 5 3 0 8]

出 願 人 B O C エドワーズ株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 4 月 1 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 8 0 1 9

【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-018

【提出日】 平成15年 3月19日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H02N 15/00
F16C 32/04
F04D 19/04

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県習志野市屋敷 4 - 3 - 1 ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社内

【氏名】 川島 敏明

【特許出願人】

【識別番号】 502109614

【氏名又は名称】 ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100105201

【弁理士】

【氏名又は名称】 椎名 正利

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053154

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回転体と、

該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、

第 1 の正極と負極との間に第 1 の電圧を発生する第 1 の電圧発生手段と、

前記第 1 の正極と異なる第 2 の正極と前記負極との間に前記第 1 の電圧よりも低い第 2 の電圧を発生し、該第 2 の電圧を維持する第 2 の電圧発生／維持手段と、

前記第 2 の正極から前記負極へ供給される第 1 の供給電流及び／又は前記第 2 の正極から前記第 1 の正極へ回生される第 1 の回生電流により、前記電磁石を励磁制御する第 1 の励磁制御手段とを備えた磁気軸受装置であって、

前記第 1 の励磁制御手段は、

前記第 1 の供給電流の断接を行う第 1 のスイッチ素子と、

該第 1 のスイッチ素子の断接を制御する第 1 の制御回路と、

前記第 1 の回生電流を該回生の向きに流す第 1 の整流素子とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 2】 回転体と、

該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、

第 1 の正極と負極との間に第 1 の電圧を発生する第 1 の電圧発生手段と、

前記第 1 の正極と異なる第 2 の正極と前記負極との間に前記第 1 の電圧よりも低い第 2 の電圧を発生し、該第 2 の電圧を維持する第 2 の電圧発生／維持手段と、

前記第 1 の正極から前記第 2 の正極へ供給される第 2 の供給電流及び／又は前記負極から前記第 2 の正極へ回生される第 2 の回生電流により、前記電磁石を励磁制御する第 2 の励磁制御手段とを備えた磁気軸受装置であって、

前記第 2 の励磁制御手段は、

前記第 2 の供給電流の断接を行う第 2 のスイッチ素子と、

該第 2 のスイッチ素子の断接を制御する第 2 の制御回路と、

前記第 2 の回生電流を該回生の向きに流す第 2 の整流素子とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 3】 回転体と、

該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を複数の電磁石により制御する位置制御手段と、

第 1 の正極と負極との間に第 1 の電圧を発生する第 1 の電圧発生手段と、

前記第 1 の正極と異なる第 2 の正極と前記負極との間に前記第 1 の電圧よりも低い第 2 の電圧を発生し、該第 2 の電圧を維持する第 2 の電圧発生／維持手段と、

前記第 2 の正極から前記負極へ供給される第 1 の供給電流及び／又は前記第 2 の正極から前記第 1 の正極へ回生される第 1 の回生電流により、前記複数の電磁石のうち少なくとも 1 個を励磁制御する第 1 の励磁制御手段と、

前記第 1 の正極から前記第 2 の正極へ供給される第 2 の供給電流及び／又は前記負極から前記第 2 の正極へ回生される第 2 の回生電流により、前記第 1 の励磁制御手段により励磁制御される電磁石以外の電磁石のうち少なくとも 1 個を励磁制御する第 2 の励磁制御手段とを備えた磁気軸受装置であって、

前記第 1 の励磁制御手段は、

前記第 1 の供給電流の断接を行う第 1 のスイッチ素子と、

該第 1 のスイッチ素子の断接を制御する第 1 の制御回路と、

前記第 1 の回生電流を該回生の向きに流す第 1 の整流素子とを有し、

前記第 2 の励磁制御手段は、

前記第 2 の供給電流の断接を行う第 2 のスイッチ素子と、

該第 2 のスイッチ素子の断接を制御する第 2 の制御回路と、

前記第 2 の回生電流を該回生の向きに流す第 2 の整流素子とを有することを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 4】 前記第 1 の正極から前記第 2 の正極へ流れる電流と、該第 2 の正極から前記負極へ流れる電流とがほぼ均等化されるように、

前記第 1 の励磁制御手段により励磁制御される電磁石と前記第 2 の励磁制御手段により励磁制御される電磁石とに、グループ分けして構成されたことを特徴とする請求項 3 記載の磁気軸受装置。

【請求項 5】 前記電磁石は複数個設けられており、
該電磁石の一端は共通のノードであり、かつ該ノードは前記第 2 の電圧発生／維持手段によって前記第 2 の電圧に維持されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受装置。

【請求項 6】 前記第 2 の電圧発生／維持手段は、
前記電磁石の一端の電圧と電圧指令値との誤差を算出する電圧誤差演算器と、
該電圧誤差演算器で算出された誤差に基づいて、前記第 1 の正極から前記電磁石の一端に流れる電流の断接及び／又は該電磁石の一端から前記負極に流れる電流の断接が制御されるレギュレータ回路とを備えたことを特徴とする請求項 5 記載の磁気軸受装置。

【請求項 7】 請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプであって、
前記回転体は、回転翼及び該回転翼の中央に配設されたロータ軸を有し、
前記位置制御手段は、該ロータ軸を空中に磁気浮上させることを特徴とするターボ分子ポンプ。

【請求項 8】 少なくとも前記回転体及び前記位置制御手段を有するターボ分子ポンプ本体と、
少なくとも前記第 1 の励磁制御手段又は前記第 2 の励磁制御手段を有する制御装置とを備え、
前記ターボ分子ポンプ本体と制御装置とが一体化されたことを特徴とする請求項 7 記載のターボ分子ポンプ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプに係わり、特に、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすとともに、電磁石とアンプ回路との間を結ぶケーブルの本数を減らし、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要のコストを減少させることのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプに関する。

【0 0 0 2】**【従来の技術】**

近年のエレクトロニクスの発展に伴い、メモリや集積回路といった半導体の需要が急激に増大している。

これらの半導体は、極めて純度の高い半導体基板に不純物をドーピングして電気的性質を与えたり、半導体基板上に微細な回路パターンを形成し、これを積層するなどして製造される。

【0 0 0 3】

そして、これらの作業は空気中の塵等による影響を避けるため高真空状態のチャンバ内で行われる必要がある。このチャンバの排気には、一般に真空ポンプが用いられているが、特に残留ガスが少なく、保守が容易である等の点からターボ分子ポンプが多用されている。

【0 0 0 4】

また、半導体の製造工程では、さまざまなプロセスガスを半導体の基板に作用させる工程が数多くあり、ターボ分子ポンプはチャンバ内を真空にするのみならず、これらのプロセスガスをチャンバ内から排気するのにも使用される。

さらに、ターボ分子ポンプは、電子顕微鏡等の設備において、粉塵等の存在による電子ビームの屈折等を防止するため、電子顕微鏡等のチャンバ内の環境を高度の真空状態にするのにも用いられている。

【0 0 0 5】

そして、このようなターボ分子ポンプは、半導体製造装置や電子顕微鏡等のチャンバからガスを吸引排気するためのターボ分子ポンプ本体と、このターボ分子ポンプ本体を制御する制御装置とから構成されている。

ターボ分子ポンプ本体の縦断面図を図 6 に示す。

【0 0 0 6】

図 6 において、ターボ分子ポンプ本体 1 0 0 は、円筒状の外筒 1 2 7 の上端に吸気口 1 0 1 が形成されている。そして、外筒 1 2 7 の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンブレードによる複数の回転翼 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c・・・を周部に放射状かつ多段に形成した回転体 1 0 3 が備えられている。

【0007】

この回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられており、このロータ軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸にかつ＋方向と－方向に、それぞれの対をなして配置されている（図示しないが、必要に応じて電磁石104X＋、104X－、104Y＋、104Y－という）。そして、この上側径方向電磁石104に近接かつ対応されて4個の電磁石からなる上側径方向センサ107が備えられている。この上側径方向センサ107は回転体103の径方向変位を検出し、制御装置200（図7に示す）に送るように構成されている。

【0008】

そして、この制御装置200においては、上側径方向センサ107が検出した変位信号に基づき、PID調節機能を有する磁気軸受制御回路201により上側径方向電磁石104を励磁制御し、ロータ軸113の上側の径方向位置を調整する。

【0009】

そして、このロータ軸113は、高透磁率材（鉄など）などにより形成され、上側径方向電磁石104の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、X軸方向とY軸方向とにそれぞれ独立して行われる。

【0010】

また、下側径方向電磁石105及び下側径方向センサ108は、上側径方向電磁石104及び上側径方向センサ107と同様に配置され、ロータ軸113の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している（下側径方向電磁石105についても、必要に応じて電磁石105X＋、105X－、105Y＋、105Y－という）。

【0011】

さらに、軸方向電磁石106A、106Bは、ロータ軸113の下部に備えた円板状の金属ディスク111を上下に挟んで配置されている。金属ディスク111は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸113の軸方向変位を検

出するために軸方向センサ 109 が備えられ、その軸方向変位信号が制御装置 200 に送られるように構成されている。

【0012】

そして、軸方向電磁石 106 A、106 B は、この軸方向変位信号に基づき、PID 調節機能を有する磁気軸受制御回路 201 により、励磁制御されるようになっている。軸方向電磁石 106 A は、磁力により金属ディスク 111 を上方に吸引し、軸方向電磁石 106 B は、金属ディスク 111 を下方に吸引する。

【0013】

このように、軸方向電磁石 106 A、106 B が金属ディスク 111 に及ぼす磁力を適当に調節することで、ロータ軸 113 は軸方向に磁気浮上され、かつ空間に非接触で保持されるようになっている。

なお、この磁気軸受制御回路 201 に関しては、後述にて、さらに詳細に説明する。

【0014】

一方、モータ 121 は、ロータ軸 113 を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸 113 との間に作用する電磁力を介してロータ軸 113 を回転駆動するように、制御装置 200 によって制御されている。

【0015】

また、モータ 121 には図示しない回転数センサが組み込まれており、この回転数センサの検出信号によりロータ軸 113 の回転数が検出されるようになっている。

さらに、例えば下側径方向センサ 108 近傍に、図示しない位相センサが取り付けられてあり、ロータ軸 113 の回転の位相を検出するようになっている。制御装置 200 では、この位相センサと回転数センサの検出信号を共に用いて磁極の位置を検出するようになっている。

【0016】

回転翼 102 a、102 b、102 c・・・とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼 123 a、123 b、123 c・・・が配設されている。回転翼 102 a

、1 0 2 b、1 0 2 c・・・は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、ロータ軸 1 1 3 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。

【0 0 1 7】

また、固定翼 1 2 3 も、同様にロータ軸 1 1 3 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒 1 2 7 の内方に向けて回転翼 1 0 2 の段と互い違いに配設されている。

【0 0 1 8】

そして、固定翼 1 2 3 の一端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ 1 2 5 a、1 2 5 b、1 2 5 c・・・の間に嵌挿された状態で支持されている。

固定翼スペーサ 1 2 5 はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。

【0 0 1 9】

固定翼スペーサ 1 2 5 の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 1 2 7 が固定されている。外筒 1 2 7 の底部にはベース部 1 2 9 が配設され、固定翼スペーサ 1 2 5 の下部とベース部 1 2 9 の間にはネジ付きスペーサ 1 3 1 が配設されている。そして、ベース部 1 2 9 中のネジ付きスペーサ 1 3 1 の下部には排気口 1 3 3 が形成され、外部に連通されている。

【0 0 2 0】

ネジ付きスペーサ 1 3 1 は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝 1 3 1 a が複数条刻設されている。

ネジ溝 1 3 1 a の螺旋の方向は、回転体 1 0 3 の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口 1 3 3 の方へ移送される方向である。

【0 0 2 1】

回転体 1 0 3 の回転翼 1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c・・・に続く最下部には回転翼 1 0 2 d が垂下されている。この回転翼 1 0 2 d の外周面は、円筒状で、かつネジ付きスペーサ 1 3 1 の内周面に向かって張り出されており、このネジ付

きスペーサ 131 の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。

【0022】

ベース部 129 は、ターボ分子ポンプ本体 100 の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。

ベース部 129 はターボ分子ポンプ本体 100 を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

【0023】

かかる構成において、回転翼 102 がモータ 121 により駆動されてロータ軸 113 と共に回転すると、回転翼 102 と固定翼 123 の作用により、吸気口 101 を通じてチャンバからの排気ガスが吸気される。

吸気口 101 から吸気された排気ガスは、回転翼 102 と固定翼 123 の間を通り、ベース部 129 へ移送される。このとき、排気ガスが回転翼 102 に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ 121 で発生した熱の伝導などにより、回転翼 102 の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により固定翼 123 側に伝達される。

【0024】

固定翼スペーサ 125 は、外周部で互いに接合しており、固定翼 123 が回転翼 102 から受け取った熱や排気ガスが固定翼 123 に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。

ベース部 129 に移送されてきた排気ガスは、ネジ付きスペーサ 131 のネジ溝 131a に案内されつつ排気口 133 へと送られる。

【0025】

なお、上記では、ネジ付きスペーサ 131 は回転翼 102 d の外周に配設し、ネジ付きスペーサ 131 の内周面にネジ溝 131a が刻設されているとして説明した。しかしながら、これとは逆に回転翼 102 d の外周面にネジ溝が刻設され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置される場合もある。

【0026】

また、吸気口 101 から吸引されたガスがモータ 121、下側径方向電磁石 105、下側径方向センサ 108、上側径方向電磁石 104、上側径方向センサ 107 などで構成される電装部側に侵入することのないよう、電装部は周囲をステータコラム 122 で覆われ、この電装部内はパージガスにて所定圧に保たれている。

【0027】

このため、ベース部 129 には図示しない配管が配設され、この配管を通じてパージガスが導入される。導入されたパージガスは、保護ベアリング 120 とロータ軸 113 間、モータ 121 のロータとステータ間、ステータコラム 122 と回転翼 102 間の隙間を通じて排気口 133 へ送出される。

【0028】

ここに、ターボ分子ポンプ本体 100 は、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種の特長、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ本体 100 は、その本体内部に電子回路部 141 を備えている。電子回路部 141 は、EEPROM 等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、その実装用の基板 143 等から構成される。

【0029】

この電子回路部 141 は、ターボ分子ポンプ本体 100 の下部を構成するベース部 129 の中央付近の図示しない回転数センサの下部に収容され、気密性の底蓋 145 によって閉じられている。

【0030】

ところで、プロセスガスは、反応性を高めるため高温の状態でチャンバに導入されることがある。そして、これらのプロセスガスは、排気される際に冷却される温度になると固体となり排気系に生成物を析出する場合がある。そして、この種のプロセスガスがターボ分子ポンプ本体 100 内で低温となって固体状となり、ターボ分子ポンプ本体 100 内部に付着して堆積する。

【0031】

例えば、Al エッチング装置にプロセスガスとして SiCl₄ が使用された場

合、低真空（ $760\text{ [torr]} \sim 10^{-2}\text{ [torr]}$ ）かつ、低温（約 $20\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ ）のとき、固体生成物（例えば AlCl_3 ）が析出し、ターボ分子ポンプ本体100内部に付着堆積することが蒸気圧曲線からわかる。これにより、ターボ分子ポンプ本体100内部にプロセスガスの析出物が堆積すると、この堆積物がポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプ本体100の性能を低下させる原因となる。そして、前述した生成物は排気口付近の温度が低い部分、特に回転翼102及びネジ付きスペーサ131付近で凝固、付着し易い状況にあった。

【0032】

そのため、この問題を解決するために、従来はベース部129等の外周に図示しないヒータや環状の水冷管149を巻着させ、かつ例えばベース部129に図示しない温度センサ（例えばサーミスタ）を埋め込み、この温度センサの信号に基づきベース部129の温度を一定の高い温度（設定温度）に保つようにヒータの加熱や水冷管149による冷却の制御（以下TMSという。TMS; Temperature Management System）が行われている。

【0033】

次に、このように構成されるターボ分子ポンプ本体100及び制御装置200に関し、上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁駆動する磁気軸受制御回路201について、詳細に説明する。

【0034】

磁気軸受制御回路及び制御回路の構成図を図7に示す。

図7において、制御装置200は、上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105等の各電磁石に対応して設けられた磁気軸受制御回路201を備えている。そして、磁気軸受が5軸制御の場合には、制御装置200内に10個の磁気軸受制御回路201が存在している（全ては図示せず）。

【0035】

ここに、磁気軸受制御回路201においては、そのPID制御回路203に上側径方向センサ107等からの変位信号が入力されるようになっている。そして、PID制御回路203では、入力された変位信号に対してPID制御を行い、

上側径方向電磁石 104 の駆動に必要な電流値（以下、電流指令値という）を電流指令信号として電流誤差演算器 205 に出力するようになっている。

【0036】

また、電流誤差演算器 205 では、PID 制御回路 203 から出力された電流指令信号と、後述するアンプ回路 210 から出力される電流検出信号との誤差（以下、電流誤差値という）を算出するようになっている。そして、電流誤差演算器 205 は、この電流誤差値を電流誤差信号としてパルス制御回路 207 に出力するようになっている。

【0037】

次に、このパルス制御回路 207 をアンプ回路 210 とともに説明する。

アンプ回路の回路図を図 8 に示す。

図 8 において、上側径方向電磁石 104 等の各電磁石を構成する電磁石巻線 151 は、その一端がトランジスタ 211 を介して電源 221 の正極 221a に接続されている。また、その他端は電流検出回路 231 及びトランジスタ 212 を介して電源 221 の負極 221b に接続されている。

【0038】

ここに、トランジスタ 211、212 は、いわゆる N 型のパワー MOSFET である。そして、トランジスタ 211 は、その一端であるドレイン端子 211a が正極 221a に接続されるとともに、その他端であるソース端子 211b が電磁石巻線 151 の一端と接続されるようになっている。また、トランジスタ 212 は、その一端であるドレイン端子 212a が電流検出回路 231 に接続されるとともに、その他端であるソース端子 212b が負極 221b と接続されるようになっている。

【0039】

一方、電流回生用のダイオード 215 は、そのカソード端子 215a が電磁石巻線 151 の一端に接続されるとともに、そのアノード端子 215b が負極 221b に接続されるようになっている。また、これと同様に、ダイオード 216 は、そのカソード端子 216a が正極 221a に接続されるとともに、そのアノード端子 216b が電流検出回路 231 を介して電磁石巻線 151 の他端に接続さ

れるようになっている。

【0040】

そして、電流検出回路 231 は、例えばホールセンサ式電流センサであり、電磁石巻線 151 に流れる電流（以下、電磁石電流 i_L という）の大きさを検出し、この検出した電流値（以下、検出電流値という）を電流検出信号として電流誤差演算器 205 に出力するようになっている。

さらに、電源 221 の正極 221a と負極 221b との間には、電源 221 の安定化のために、安定化キャパシタ 223 が接続されている。

【0041】

なお、電磁石巻線 151 の一端とトランジスタ 211 との間（以下、ノード P という）や、電磁石巻線 151 の他端と電流検出回路 231 との間（以下、ノード Q という）は、電磁石巻線 151 がターボ分子ポンプ本体 100 側の素子であるため、図 7 に示すように、制御装置 200 とターボ分子ポンプ本体 100 との間を接続するためのケーブル 170 を構成する配線となっている。

【0042】

そして、以上のように構成されるアンプ回路 210 は、磁気軸受制御回路 201 が、上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 等の各電磁石に対応して設けられることを受けて、（上側径方向電磁石 104 以外の）他の下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106A、106B についても同様のアンプ回路 210 が構成されるようになっている。

【0043】

一方、パルス制御回路 207 は、電流誤差演算器 205 から出力される電流誤差信号に基づいて、電磁石電流 i_L を増減させるべく、PWM 制御による 1 周期である制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅の大きさ（パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} ）を決めるようになっている。この際、パルス制御回路 207 には、所定周期（例えば 25 kHz）を有する搬送波が入力されるようになっており、この搬送波の持つ周期に基づき制御サイクル T_s が決められるようになっている。その結果、制御サイクル T_s 内に、パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} を有する信号（以下、ゲート駆動信号という）をトランジスタ 211、212 のゲート端子に出

力し、トランジスタ 211、212 の on/off を切り替えるようになっている。

【0044】

かかる構成において、PID 制御回路 203 から出力される電流指令値が電流検出回路 231 で検出された電流検出値より大きい場合、すなわち電磁石電流 i_L を増加させる場合には、図 9 に示すように、制御サイクル T_s 中で、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけトランジスタ 211、212 の両方を on にし、パルス幅時間 T_{p2} ($=T_s - T_{p1}$) だけトランジスタ 211、212 の両方を off にする。

【0045】

このとき、トランジスタ 211、212 が両方 on のときは、正極 221a から負極 221b へ、トランジスタ 211、電磁石巻線 151 及びトランジスタ 212 を介して流れる電磁石電流 i_L が、電磁石巻線 151 に供給される（このとき電磁石電流 i_L は増加する）。一方、トランジスタ 211、212 が両方 off のときは、負極 221b から正極 221a へ、ダイオード 215、電磁石巻線 151 及びダイオード 216 を介して回生する電磁石電流 i_L が、電磁石巻線 151 に供給される（このとき電磁石電流 i_L は、トランジスタ 211、212 が両方 on の場合よりも減少する）。

従って、パルス幅時間 T_{p1} をパルス幅時間 T_{p2} よりも長くすることで、制御サイクル T_s 内の電磁石電流 i_L が（結果的に）増加される。

【0046】

一方、PID 制御回路 203 から出力される電流指令値が電流検出回路 231 で検出された電流検出値より小さい場合、すなわち電磁石電流 i_L を減少させる場合には、上記と逆の考え方により、パルス幅時間 T_{p2} をパルス幅時間 T_{p1} よりも長くすることで、制御サイクル T_s 内における電磁石電流 i_L が減少される。

【0047】

なお、このアンプ回路 210 において、トランジスタ 211、212 のどちらか 1 個を on とすることで、特許文献 1 に示されるように、アンプ回路 210 内

でフライホイール電流が保持される（図示略）。

【0048】

【特許文献1】

特許 3176584 号公報

【0049】

そして、アンプ回路 210 内にフライホイール電流を保持することで、アンプ回路 210 におけるヒステリシス損を減少させ、回路全体としての消費電力を低く抑えることができる。また、このようにトランジスタ 211、212 を制御することで、ターボ分子ポンプ本体 100 に生じる高調波等の高周波ノイズを低減することができる。

【0050】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上述のように、磁気軸受制御回路 201 は、上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 等の各電磁石に対応して配置されるものであるため、制御装置 200 内には 10 個のアンプ回路 210 が存在する。そして、このアンプ回路 210 が、1 個の電磁石巻線 151 につき 2 個のトランジスタ 211、212 と 2 個のダイオード 215、216 が必要であることを考慮すると、全ての電磁石を励磁駆動するために、制御装置 200 内に 20 個のトランジスタとダイオードとが必要となる。

【0051】

その一方で、これらのトランジスタ 211、212 やダイオード 215、216 は、いずれも電磁石巻線 151 に大きな電流を供給するため、その素子のサイズ（トランジスタであればチャンネル幅、ダイオードであれば接合面積）を大きくする必要がある。

【0052】

従って、電磁石巻線 151 への十分な電流供給を可能にしつつ、アンプ回路 210 の小型化を図るのは困難であり、その結果として、制御装置 200 の小型化を図ることも困難であった。

そのため、ターボ分子ポンプ本体 100 及び制御装置 200 をクリーンルーム

等に設置する場合にも、制御装置 200 に大きな面積が必要となってしまう、設置のためのコストが上昇するおそれがあった。

【0053】

これに加え、上述のようにアンプ回路 210 と電磁石巻線 151 との間を結ぶノード P、Q は、制御装置 200 とターボ分子ポンプ本体 100 との間のケーブル 170 を構成する配線となっている。そして、アンプ回路 210 が制御装置 200 内に 10 個存在することを考慮すると、ケーブル 170 にはノード P、Q として 20 本の配線が存在する。

従って、ケーブル 170 の本数を減らすことができず、ケーブル 170 自体のコストの低減が困難であった。

【0054】

さらに、このノード P、Q の配線に関しては、電磁石巻線 151 への大きな電流伝送するため、その配線の径を大きくする必要がある。

そのため、ケーブル 170 の径の小径化も困難であり、その結果として、ケーブル 170 のターボ分子ポンプ本体 100 側の入出口となるコネクタ（図示せず）の小型化も困難であった。特に、ターボ分子ポンプ本体 100 側のコネクタは、ターボ分子ポンプ本体 100 内部の真空状態を維持しつつ、ケーブル 170 の入出力を可能にするという特殊性を有するため、このコネクタの小型化が困難であると、ターボ分子ポンプ全体としての製造コストの上昇に直結するおそれがあった。

【0055】

本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたもので、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすとともに、電磁石とアンプ回路との間を結ぶケーブルの本数を減らし、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させることのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプを提供することを目的とする。

【0056】

【課題を解決するための手段】

このため本発明は、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置

を電磁石により制御する位置制御手段と、第1の正極と負極との間に第1の電圧を発生する第1の電圧発生手段と、前記第1の正極と異なる第2の正極と前記負極との間に前記第1の電圧よりも低い第2の電圧を発生し、該第2の電圧を維持する第2の電圧発生／維持手段と、前記第2の正極から前記負極へ供給される第1の供給電流及び／又は前記第2の正極から前記第1の正極へ回生される第1の回生電流により、前記電磁石を励磁制御する第1の励磁制御手段とを備えた磁気軸受装置であって、前記第1の励磁制御手段は、前記第1の供給電流の断接を行う第1のスイッチ素子と、該第1のスイッチ素子の断接を制御する第1の制御回路と、前記第1の回生電流を該回生の向きに流す第1の整流素子とを備えて構成した。

【0057】

電磁石の駆動に際し、第1のスイッチ素子を接続することで、電磁石に第2の正極から負極に向かう第1の供給電流が供給される。一方、第1のスイッチ素子を切断することで、電磁石に第2の正極から第1の正極に向かう第1の回生電流が流れる。このとき、第2の正極は、第1の励磁制御手段により電圧が下降する方向に作用される。しかし、いずれの場合であっても、第2の電圧発生／維持手段により、第2の正極は、第2の電圧に維持される。従って、第1の励磁制御手段と第2の電圧発生／維持手段の作用により、電磁石に流れる電流の増減が可能となる。

【0058】

このことにより、第1の励磁制御手段を第1のスイッチ素子と第1の整流素子のみで構成しても、電磁石の励磁制御が可能となる。

そのため、第1の励磁制御手段を構成する素子が減少し、これを備えた磁気軸受装置の故障率を下げることができる。これに加え、磁気軸受装置で消費する電力や、磁気軸受装置が発する熱を減らすことができる。

なお、第2の電圧は、第1の電圧の半分程度の大きさであることが望ましい。

【0059】

また、本発明は、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を電磁石により制御する位置制御手段と、第1の正極と負極との間に第1の電圧を

発生する第1の電圧発生手段と、前記第1の正極と異なる第2の正極と前記負極との間に前記第1の電圧よりも低い第2の電圧を発生し、該第2の電圧を維持する第2の電圧発生／維持手段と、前記第1の正極から前記第2の正極へ供給される第2の供給電流及び／又は前記負極から前記第2の正極へ回生される第2の回生電流により、前記電磁石を励磁制御する第2の励磁制御手段とを備えた磁気軸受装置であって、前記第2の励磁制御手段は、前記第2の供給電流の断接を行う第2のスイッチ素子と、該第2のスイッチ素子の断接を制御する第2の制御回路と、前記第2の回生電流を該回生の向きに流す第2の整流素子とを備えて構成した。

【0060】

電磁石の駆動に際し、第2のスイッチ素子を接続することで、電磁石に第1の正極から第2の正極に向かう第2の供給電流が供給される。一方、第2のスイッチを切断することで、電磁石に負極から第2の正極に向かう第2の回生電流が流れる。このとき、第2の正極は、第2の励磁制御手段により電圧が上昇する方向に作用される。しかし、いずれの場合であっても、第2の電圧発生／維持手段により、第2の正極は、第2の電圧に維持される。従って、第2の励磁制御手段と第2の電圧発生／維持手段の作用により、電磁石に流れる電流の増減が可能となる。

【0061】

このことにより、第2の励磁制御手段を第2のスイッチ素子と第2の整流素子のみで構成しても、請求項1と同様に、電磁石の励磁制御が可能となる。

従って、磁気軸受装置の設計において、設計容易な構成を選択可能であり、かつその制御においても、制御容易な構成を選択可能となる。

【0062】

さらに、本発明は、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を複数個の電磁石により制御する位置制御手段と、第1の正極と負極との間に第1の電圧を発生する第1の電圧発生手段と、前記第1の正極と異なる第2の正極と前記負極との間に前記第1の電圧よりも低い第2の電圧を発生し、該第2の電圧を維持する第2の電圧発生／維持手段と、前記第2の正極から前記負極へ供給

される第1の供給電流及び／又は前記第2の正極から前記第1の正極へ回生される第1の回生電流により、前記複数個の電磁石のうち少なくとも1個を励磁制御する第1の励磁制御手段と、前記第1の正極から前記第2の正極へ供給される第2の供給電流及び／又は前記負極から前記第2の正極へ回生される第2の回生電流により、前記第1の励磁制御手段により励磁制御される電磁石以外の電磁石のうち少なくとも1個を励磁制御する第2の励磁制御手段とを備えた磁気軸受装置であって、前記第1の励磁制御手段は、前記第1の供給電流の断接を行う第1のスイッチ素子と、該第1のスイッチ素子の断接を制御する第1の制御回路と、前記第1の回生電流を該回生の向きに流す第1の整流素子とを有し、前記第2の励磁制御手段は、前記第2の供給電流の断接を行う第2のスイッチ素子と、該第2のスイッチ素子の断接を制御する第2の制御回路と、前記第2の回生電流を該回生の向きに流す第2の整流素子とを有して構成した。

【0063】

第2の電圧発生／維持手段により、第2の正極は、第2の電圧に維持される。従って、第1の励磁制御手段と第2の電圧発生／維持手段の作用により、また第2の励磁制御手段と第2の電圧発生／維持手段の作用により、電磁石に流れる電流の増減が可能となる。

このことにより、請求項1及び請求項2と同様の効果を得ることができる。

【0064】

さらに、本発明は、前記第1の正極から前記第2の正極へ流れる電流と、該第2の正極から前記負極へ流れる電流とがほぼ均等化されるように、前記第1の励磁制御手段により励磁制御される電磁石と前記第2の励磁制御手段により励磁制御される電磁石とに、グループ分けして構成されたことを特徴とする。

【0065】

複数個の電磁石が、第1の正極から第2の正極へ流れる電流と、第2の正極から負極へ流れる電流とがほぼ均等化するようにグループ分けされることで、第2の電圧発生／維持手段から供給しなければならない電流を減らすことができる。

従って、第2の電圧発生／維持手段を構成する回路のサイズを小さく構成でき、磁気軸受装置の一層の小型化を図ることができる。

【0066】

さらに、本発明は、前記電磁石は複数個設けられており、該電磁石の一端は共通のノードであり、かつ該ノードは前記第2の電圧発生／維持手段によって前記第2の電圧に維持されることを特徴とする。

【0067】

電磁石の一端が共通のノードとなっており、かつこのノードが第2の電圧発生／維持手段によって第2の電圧に維持されるため、第1の励磁制御手段（あるいは第2の励磁制御手段）及び第2の電圧発生／維持手段と、電磁石との間を結ぶ配線は、電磁石の一端の共通のノードと各電磁石の他端の配線のみとなる。

従って、これらの間に必要な配線数が減り、配線のためのコストを下げることができる。

【0068】

さらに、本発明は、前記第2の電圧発生／維持手段は、前記電磁石の一端の電圧と電圧指令値との誤差を算出する電圧誤差演算器と、該電圧誤差演算器で算出された誤差に基づいて、前記第1の正極から前記電磁石の一端に流れる電流の断接及び／又は該電磁石の一端から前記負極に流れる電流の断接が制御されるレギュレータ回路とを備えて構成した。

【0069】

このことにより、第2の電圧発生／維持手段は、実際の電磁石の一端の電圧に基づき、この電圧を第2の電圧に維持するよう制御される。

従って、第2の電圧発生／維持手段は、第1の励磁制御手段と第2の励磁制御手段とに、共通に構成可能である。

【0070】

さらに、本発明は、請求項1～6のいずれか1項に記載の磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプであって、前記回転体は、回転翼及び該回転翼の中央に配設されたロータ軸を有し、前記位置制御手段は、該ロータ軸を空中に磁気浮上させることを特徴とする。

【0071】

請求項1～6のいずれか1項に記載の磁気軸受装置は、ターボ分子ポンプに搭

載される。

このことにより、この磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプの小型化を図ることができる。

【0072】

さらに、本発明は、少なくとも前記回転体及び前記位置制御手段を有するターボ分子ポンプ本体と、少なくとも前記第1の励磁制御手段又は前記第2の励磁制御手段を有する制御装置とを備え、前記ターボ分子ポンプ本体と制御装置とが一体化されたことを特徴とする。

【0073】

請求項1記載の第1の励磁制御手段や請求項2記載の第2の励磁制御手段は、小型化が可能である。従って、この第1の励磁制御手段や第2の励磁制御手段を有する制御装置も小型化が可能となる。

そのため、制御装置とターボ分子ポンプ本体とは一体化が可能となり、制御装置とターボ分子ポンプ本体との間を結ぶ配線等無くすことができる。

このことにより、ターボ分子ポンプの製造、配置等に必要なコストを減少させることができる。

【0074】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第1の実施形態について説明する。

本発明の第1実施形態である磁気軸受制御回路及び制御回路の構成図を図1に示す。なお、図7と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

【0075】

図1において、ターボ分子ポンプ本体300は、その上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105等の各電磁石を構成する電磁石巻線151の一端が、それぞれの電磁石において共通のノードとなっている（このノードを共通ノードRとする）。

【0076】

これに対し、制御装置400は、上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石

105等の各電磁石に対応して設けられた磁気軸受制御回路401を備えている。そして、磁気軸受が5軸制御の場合には、制御装置400内に10個の磁気軸受制御回路401が存在している。

【0077】

ここに、磁気軸受制御回路401においては、従来と同様に、上側径方向センサ107等からの変位信号に基づいて、PID制御回路203及び電流誤差演算器205の制御により、電流誤差演算器205から電流誤差信号がパルス制御回路407に出力されるようになっている。

【0078】

このパルス制御回路407をアンプ回路410とともに説明する。

アンプ回路の回路図を図2に示す。なお、図8と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図2において、電磁石巻線151は、その一端が共通ノードRに接続されている。また、その他端は、電流検出回路231及びトランジスタ411を介して電源221の負極221bに接続されている。

【0079】

ここに、トランジスタ411は、従来と同様に、N型のパワーMOSFETであり、その一端であるドレイン端子411aが電流検出回路231に接続されるとともに、その他端であるソース端子411bが負極221bと接続されている。

【0080】

また、電流回生用のダイオード415は、そのカソード端子415aが電源221の正極221aに接続されるとともに、そのアノード端子415bがトランジスタ411のドレイン端子411aに接続されるようになっている。

【0081】

そして、電流検出回路231は、従来と同様であり、電磁石巻線151に流れる電磁石電流 i_L の大きさを検出し、この検出した電流値を電流検出信号として電流誤差演算器205に出力するようになっている。なお、この電流検出回路231は、電磁石巻線151の他端側ではなく、電磁石巻線151の一端側に接続

されていても良い。

【0082】

さらに、電源 221 の正極 221 a と共通ノード R との間及び負極 221 b と共通ノード R との間には、電源 221 と共通ノード R の電圧の安定化のために、それぞれに安定化キャパシタ 423 a、423 b が接続されている。

【0083】

なお、電磁石巻線 151 の他端とトランジスタ 411 との間（以下、ノード S という）は、電磁石巻線 151 がターボ分子ポンプ本体 100 側の素子であるため、従来と同様に、制御装置 400 とターボ分子ポンプ本体 300 との間のケーブル 170 を構成する配線となっている。

【0084】

そして、以上のように構成されるアンプ回路 410 は、磁気軸受制御回路 401 が上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 等の各電磁石に対応して設けられることを受けて、従来と同様に、他の下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106 A、106 B についても同様のアンプ回路 410 が構成されるようになっている。

【0085】

一方、パルス制御回路 407 は、電流誤差演算器 205 から出力される電流誤差信号に基づいて、電磁石電流 i_L を増減させるべく、制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} を決めるようになっている。そして、パルス制御回路 407 は、このパルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} を有するゲート駆動信号をトランジスタ 411 のゲート端子に出力して、トランジスタ 411 の on/off を切り替えるようになっている。

【0086】

さらに、図 1 において、制御装置 400 は、上記のような磁気軸受制御回路 401 に加え、共通ノード R に対して設けられた中間電圧維持回路 451 を備えている。

この中間電圧維持回路 451 では、その指令値設定回路 453 に、共通ノード R の電位を何ボルトに設定するか決めるための設定信号が入力されるようになっ

ている。そして、この指令値設定回路 453 は、入力された設定信号に基づき、共通ノード R に必要な電圧値（以下、電圧指令値という）を電圧誤差演算器 455 に出力するようになっている。

【0087】

また、電圧誤差演算器 455 では、指令値設定回路 453 から出力された電圧指令値と共通ノード R の電圧値（以下、実電圧値という）との誤差（以下、電圧誤差値という）を算出するようになっている。そのため、この共通ノード R の実電圧値は、そのまま電圧誤差演算器 455 に送られるようになっている。そして、電圧誤差演算器 455 は、この電圧誤差値を電圧誤差信号としてレギュレータ制御回路 457 に出力するようになっている。

【0088】

このレギュレータ制御回路 457 をレギュレータ回路 460 とともに説明する。

図 2 において、共通ノード R は、チョークコイル 471 を介してトランジスタ 461、462 及びダイオード 465、466 に接続されるようになっている（以下、ノード T という）。

【0089】

ここに、トランジスタ 461、462 は、トランジスタ 411 等と同様に、N 型のパワー MOSFET である。そして、このトランジスタ 461 は、その一端であるドレイン端子 461a がノード T に接続されるとともに、その他端であるソース端子 461b が（アンプ回路 410 と同じ）負極 221b に接続されるようになっている。また、トランジスタ 462 は、その一端であるドレイン端子 462a が（アンプ回路 410 と同じ）正極 221a に接続されるとともに、その他端であるソース端子 462b がノード T に接続されるようになっている。

【0090】

さらに、ダイオード 465 は、そのカソード端子 465a がノード T に接続されるとともに、そのアノード端子 465b が負極 221b に接続されるようになっている。また、ダイオード 466 は、そのカソード端子 466a が正極 221a に接続されるとともに、そのアノード端子 466b がノード T に接続されるよ

うになっている。

【0091】

なお、チョークコイル471は、トランジスタ461、462からの急激な電流の増減によるノードTの揺れ（すなわち、レギュレータ回路460が発するノイズ）が直接共通ノードRに伝わらないようにするための素子となっている。

【0092】

また、トランジスタ462に関しては、正極221aの電圧V_hを十分に転送できるようにするため、そのゲート端子に電圧V_h以上の電圧を印加することが望ましい。このとき、トランジスタ462のゲート端子には、例えばレギュレータ制御回路457からのレギュレータ駆動信号に対して簡易なブースト回路を介した信号を入力することにより、十分に電圧V_hを転送できるようになる。

【0093】

さらに、このノードTには、電流計器が取り付けられることが望ましい（図示略）。これにより、トランジスタ461、462等が破壊して、万一、正極221aと負極221bとが短絡しても、この電流計器によりノードTに流れる電流を検知することで、ターボ分子ポンプ全体の破壊を未然に防ぐことができる。

【0094】

また、電磁石巻線151の一端とレギュレータ回路460とを結ぶ共通ノードRは、レギュレータ回路460が制御装置400側の回路であるため、図1に示すように、制御装置400とターボ分子ポンプ本体300との間のケーブル170を構成する配線となっている。

【0095】

一方、レギュレータ制御回路457は、電圧誤差演算器455から出力される電圧誤差信号に基づいて、共通ノードRを所定の間電圧V_cに維持すべく、このノードTを正極221a又は負極221bに接続する時間を決めるようになっている。その結果、レギュレータ制御回路457は、レギュレータ駆動信号をトランジスタ461、462のゲート端子に出力し、トランジスタ461、462のon/offを切り替えるようになっている。

【0096】

なお、レギュレータ回路 460 において維持される中間電圧 V_c としては、正極 221a の電圧（電圧 V_h とする）と負極 221b の電圧（電圧 V_l とする）の半分の電圧、すなわち $(V_h + V_l) / 2$ であることが望ましい。

【0097】

かかる構成において、ある電磁石巻線 151A（他の電磁石巻線と区別するため添字 A を付す、以下同旨）についてのアンプ回路 410A で電磁石電流 i_{LA} を増加させる場合には、図 3 に示すように、制御サイクル T_s 中で、パルス幅時間 T_{p1A} に相当する時間分だけトランジスタ 411A を on にし、パルス幅時間 T_{p2A} だけトランジスタ 411A を off にする。

【0098】

このとき、トランジスタ 411A が on のときは、共通ノード R（中間電圧 V_c を維持しているとする）から負極 221b へ、電磁石巻線 151 及びトランジスタ 411A を介して流れる電磁石電流 i_L が、電磁石巻線 151 に供給される。一方、トランジスタ 411A が off のときは、共通ノード R からアンプ回路 410A の正極 221a へ、電磁石巻線 151、ノード S 及びダイオード 415A を介して回生する電磁石電流 i_L が、電磁石巻線 151 に供給される。

従って、パルス幅時間 T_{p1A} をパルス幅時間 T_{p2A} よりも長くすることで、制御サイクル T_s 内の電磁石電流 i_{LA} が増加される。

【0099】

一方、電磁石巻線 151A とは別の電磁石巻線 151B（添字 B を付す、以下同旨）についてのアンプ回路 410B で電磁石電流 i_{LB} を減少させる場合には、上記と逆の考え方により、パルス幅時間 T_{p2B} をパルス幅時間 T_{p1B} よりも長くすることで、制御サイクル T_s 内における電磁石電流 i_{LB} が減少される。

【0100】

ここで、ある制御サイクル T_s 内で、上記のアンプ回路 410A、410B のみに電磁石電流 i_L の増減があったとすると、その場合のレギュレータ回路 460 の制御は、以下のようになる。

【0101】

アンプ回路 410A、410B で流す電磁石電流 i_{LA} 、 i_{LB} の和である全電磁石電流 i_{Ltot} は、共通ノード R の電圧を中間電圧 V_c より下降させる。そして、共通ノード R の電圧値が電圧誤差演算器 455 に送られると、電圧誤差演算器 455 は、レギュレータ制御回路 457 に共通ノード R の電圧を上昇させる旨の電圧誤差信号を出力する。その結果、レギュレータ制御回路 457 では、正極 221a 側に接続されているトランジスタ 462 を on にして、共通ノード R の電圧を上昇させる。なお、この間トランジスタ 461 は off にされる（この動作を電圧上昇動作という）。

【0102】

一方、共通ノード R の電圧が中間電圧 V_c 以上の場合、トランジスタ 462 は off にされる。

そして、このようなレギュレータ回路 460 における制御は、アンプ回路 410 が 2 個であっても、10 個であっても変わることはない。

【0103】

以上により、アンプ回路 410 を 1 つのトランジスタ 411 と 1 つのダイオード 415 のみで構成しても、レギュレータ回路 460 で全電磁石電流 i_{Ltot} に対する制御を適宜行うことで、電磁石電流 i_L の増減の制御が可能となる。

そのため、アンプ回路 410 を構成する素子が減少し、制御装置 400 の小型化を図ることが可能となる。従って、制御装置 400 等をクリーンルーム等に設置する場合にも、制御装置 400 を省スペースに設置することができ、設置のためのコストを下げることができる。

【0104】

また、制御装置 400 を構成する素子数が減るため、この制御装置 400 の故障率を下げることができる。さらに、制御装置 400 として消費する電力や、これが発する熱を減らすことができる。

【0105】

これに加え、アンプ回路 410 と電磁石巻線 151 の他端とを結ぶ配線はノード S のみとなるため、5 軸制御の磁気軸受であってもノード S としての配線は 10 本である。また、共通ノード R についての配線もターボ分子ポンプ本体 300

からレギュレータ回路 460 に向かう 1 本だけであるため、全体として、制御装置 400 と各電磁石の間を接続する配線が 11 本となる。従って、ケーブル 170 自体のコストを下げる可以降低。

【0106】

また、ケーブル 170 を構成する配線数が減るため、ケーブル 170 の径の小径化ができ、ターボ分子ポンプ本体 100 側の入出口となるコネクタも小型化することができる。従って、このコネクタに要するコストを低減することができる。

【0107】

さらに、制御装置 400 自体の小型化により、制御装置 400 の機能を容易にターボ分子ポンプ本体 300 側に組み入れることができる。従って、制御装置 400 とターボ分子ポンプ本体 300 の一体化も可能であるため、これらの間を結ぶケーブル 170 やコネクタが不要となり、ターボ分子ポンプの製造、配置等に必要なコストを減少させることができる。

【0108】

なお、本実施形態においては、レギュレータ回路 460 のトランジスタ 462 は、N 型のパワー MOSFET であるとして説明したが、これに限られない。すなわち、トランジスタ 462 は、P 型のパワー MOSFET であっても良い。このとき、トランジスタ 462 には、そのゲート端子を駆動するためのブースト回路等を設ける必要が無くなる。そして、トランジスタ 462 を P 型のパワー MOSFET とした場合には、N 型のパワー MOSFET を用いた場合の逆相のゲート駆動信号をトランジスタ 462 に入力すれば良い。

【0109】

次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。

第 2 実施形態である制御装置は、第 1 実施形態である制御装置 400 に対して、そのアンプ回路 410 の構成のみを変更したものである。そのため、本実施形態における磁気軸受制御回路及び中間電圧維持回路の構成は、アンプ回路以外は第 1 実施形態の磁気軸受制御回路 401 及び中間電圧維持回路 451 と同様となっている。

【0110】

本発明の第2実施形態であるアンプ回路の回路図を図4に示す。なお、図2、図8と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図4において、電磁石巻線151は、第1実施形態と同様に、その一端が共通ノードRに接続されている。また、その他端も、第1実施形態と同様に、電流検出回路231及びトランジスタ511を介して電源221の正極221aに接続されている。

【0111】

ここに、トランジスタ511は、いわゆるN型のパワーMOSFETであり、その一端であるドレイン端子511aが正極221aに接続されるとともに、その他端であるソース端子511bが電流検出回路231と接続されるようになっている。

【0112】

また、電流回生用のダイオード515は、そのカソード端子515aがトランジスタ511のソース端子511bに接続されるとともに、そのアノード端子515bが負極221bに接続されるようになっている。

【0113】

なお、トランジスタ511に関しては、トランジスタ462と同様に、正極221aの電圧 V_h を十分に転送できるようにするため、そのゲート端子に電圧 V_h 以上の電圧を印加することが望ましい。このとき、トランジスタ511のゲート端子には、例えばパルス制御回路407からのゲート駆動信号に対して簡易なブースト回路を介した信号を入力することにより、十分に電圧 V_h を転送できるようになる。

【0114】

そして、以上のように構成されるアンプ回路510は、第1実施形態と同様に、他の下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bについても同様のアンプ回路510が構成されるようになっている。

【0115】

かかる構成において、アンプ回路510で電磁石電流 i_L を増加させる場合に

は、制御サイクル T_s 中で、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけトランジスタ 511 を on にし、パルス幅時間 T_{p2} だけトランジスタ 511 を off にする。

【0116】

このとき、トランジスタ 511 が on のときは、正極 221a から共通ノード R へ、トランジスタ 511 及び電磁石巻線 151 を介して流れる電磁石電流 i_L が、電磁石巻線 151 に供給される。一方、トランジスタ 511B が off のときは、アンプ回路 510 の負極 221b から共通ノード R へ、ダイオード 515、ノード S 及び電磁石巻線 151 を介して回生する電磁石電流 i_L が、電磁石巻線 151 に供給される。

【0117】

従って、パルス幅時間 T_{p1} をパルス幅時間 T_{p2} よりも長くすることで、制御サイクル T_s 内の電磁石電流 i_L が増加される。

一方、アンプ回路 510 で電磁石電流 i_L を減少させる場合には、上記と逆の考え方により、パルス幅時間 T_{p2} をパルス幅時間 T_{p1} よりも長くすることで、制御サイクル T_s 内における電磁石電流 i_L が減少される。

【0118】

これに対し、アンプ回路 510 を用いた場合の共通ノード R に対するレギュレータ回路 460 の制御は、第 1 実施形態とはほぼ同様であるが、アンプ回路 410 の場合と異なり、アンプ回路 510 は共通ノード R に対してその電位を上昇させる方向に作用する。

【0119】

アンプ回路 510A、510B で流す電磁石電流 i_{LA} 、 i_{LB} の和である全電磁石電流 i_{Ltot} は、共通ノード R の電圧を中間電圧 V_c より上昇させる。そして、共通ノード R の電圧値が電圧誤差演算器 455 に送られると、電圧誤差演算器 455 は、レギュレータ制御回路 457 に共通ノード R の電圧を下降させる旨の電圧誤差信号を出力する。その結果、レギュレータ制御回路 457 では、負極 221b 側に接続されているトランジスタ 461 を on にして、共通ノード R の電圧を下降させる。なお、この間トランジスタ 462 は off にされる（こ

の動作を電圧下降動作という)。

【0120】

一方、共通ノードRの電圧が中間電圧 V_c 以下の場合、トランジスタ461はoffにされる。

そして、このようなレギュレータ回路460における制御は、アンプ回路510が2個であっても、10個であっても変わることはない。

【0121】

このように、中間電圧維持回路451は、共通ノードRの電圧を検知しながら、その電圧の維持を行っているため、アンプ回路510の構成やその制御の仕方が異なっても（共通ノードRに対しこの電圧を上昇させるように作用するか、下降させるように作用するかの違いはあるが）、基本的にレギュレータ回路460の制御の仕方に変更はない。

【0122】

このことにより、第1実施形態と異なるアンプ回路の構成を採用しても、第1実施形態と同様の作用、効果を得ることができる。

従って、アンプ回路の設計において、設計容易な回路構成を選択可能であり、その制御においても、制御容易な回路を選択可能となる。

【0123】

なお、本実施形態においては、アンプ回路510のトランジスタ511は、N型のパワーMOSFETであるとして説明したが、これに限られない。すなわち、トランジスタ511は、トランジスタ462と同様に、P型のパワーMOSFETであっても良い。このとき、トランジスタ511には、そのゲート端子を駆動するためのブースト回路等を設ける必要がなくなる。そして、トランジスタ511をP型のパワーMOSFETとした場合には、N型のパワーMOSFETを用いた場合の逆相のゲート駆動信号をトランジスタ511に入力すれば良い。

【0124】

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。

第3実施形態である制御装置は、第1実施形態の制御装置400（あるいは第2実施形態の制御装置）に対して、そのアンプ回路410、510の構成の仕方

を変更したものである。従って、本実施形態における磁気軸受制御回路及び中間電圧維持回路の構成は、アンプ回路以外は第1実施形態の磁気軸受制御回路401及び中間電圧維持回路451（あるいは第2実施形態の磁気軸受制御回路及び中間電圧維持回路）と同様である。

【0125】

本発明の第3実施形態であるアンプ回路の回路図を図5に示す。なお、図1、図2、図8と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。また、上側径方向電磁石104や下側径方向電磁石105等を構成する電磁石巻線151A、B、C・・・（以下、電磁石巻線151A、B、C・・・に合わせて添字A、B、C・・・を付す、以下同旨）についても同時に示すものとする。

【0126】

図5において、電磁石巻線151Aに関するアンプ回路610Aでは、第1実施形態のトランジスタ411、ダイオード415と同一構成を有するトランジスタ611A、ダイオード615Aが、アンプ回路410と同じ接続関係になっている。

【0127】

これに対し、電磁石巻線151Aと別の電磁石巻線151Bに関するアンプ回路610Bでは、第2実施形態のトランジスタ511、ダイオード515と同一構成を有するトランジスタ611B、ダイオード615Bが、アンプ回路510と同じ接続関係になっている。

【0128】

さらに、電磁石巻線151A、151Bと別の電磁石巻線151Cに関するアンプ回路610Cでは、アンプ回路610Aと同様に、第1実施形態と同様の構成となっている。

【0129】

このように本実施形態においては、各電磁石に対するアンプ回路610A、B、C・・・が、第1実施形態と同様の構成（アンプ回路410）を有するグループと、第2実施形態と同様の構成（アンプ回路510）を有するグループとの2つのグループに分けられている。

【0130】

そして、このグループ分けの仕方についての具体的な一例を挙げるために、上側径方向電磁石104の電磁石104X+、104X-と、下側径方向電磁石105の電磁石105X+、105X-との関係について説明する。

【0131】

例えば、回転体103全体をX軸の+方向に位置制御する場合には、電磁石104X+、105X+に流れる電磁石電流*i*_Lを増加させ、電磁石104X-、105X-に流れる電磁石電流*i*_Lを減少させる。逆に、回転体103全体をX軸の-方向に位置制御する場合には、電磁石104X+、105X+に流れる電磁石電流*i*_Lを減少させ、電磁石104X-、105X-に流れる電磁石電流*i*_Lを増加させる。

【0132】

このように、回転体103の位置制御に関し、上側径方向電磁石104と下側径方向電磁石105のX軸方向への制御は、ほぼ同様の制御をすることが多く、上側径方向電磁石104（例えば電磁石104X+）に流れる電磁石電流*i*_Lが増えたと、下側径方向電磁石105（電磁石105X+）に流れる電磁石電流*i*_Lも増える傾向にある。そのため、電磁石104X+、104X-と、電磁石105X+、105X-とを異なるグループに入れることで、上側径方向電磁石104で共通ノードRから負極221bに電流が流れるときには、下側径方向電磁石105で正極221aから共通ノードRに電流が流れるようになり、共通ノードRの中間電圧*V*_cを維持するために必要な全電磁石電流*i*_{L total}を減らすことができる。

【0133】

従って、これ以外の上側径方向電磁石104の電磁石104Y+、104Y-と、下側径方向電磁石105の電磁石105Y+、105Y-との関係においても、異なるグループに入れることが望ましい。

【0134】

なお、これに対して、例えば上側径方向電磁石104の電磁石104X+と電磁石104X-の関係については、回転体103をX軸の+方向に位置制御する

場合、電磁石 104X+の電磁石電流 i_L が増加され、電磁石 104X-の電磁石電流 i_L が減少される傾向にあるので、これらは同一グループに入れることが望ましい。そのため、これ以外の電磁石 104Y+と電磁石 104Y-、下側径方向電磁石 105の電磁石 105X+と電磁石 105X-や電磁石 105Y+と電磁石 105Y-、さらに軸方向電磁石 106Aと軸方向電磁石 106Bの関係においても、それぞれ同一グループに入れることが望ましい。

【0135】

かかる構成において、第1実施形態と同様の構成を有するアンプ回路 610A等における電磁石電流 i_L の制御の仕方は、第1実施形態と同様である。また、第2実施形態と同様の構成を有するアンプ回路 610B等における電磁石電流 i_L の制御の仕方も、第2実施形態と同様である。

【0136】

また、レギュレータ回路 460の制御に関しても、第1実施形態や第2実施形態と同様に、共通ノードRの電圧を検知しながらその電圧の維持を行っている。従って、アンプ回路 610A等が共通ノードRを下降させるように作用し、アンプ回路 610Bが共通ノードRを上昇させるように作用するため両方のトランジスタ 461、462の on/off の制御が一時期に行われる点が第1実施形態や第2実施形態と異なるが、基本的にレギュレータ回路 460の制御の仕方に変更はない。

【0137】

このことにより、第1実施形態や第2実施形態と異なるアンプ回路の構成の仕方を採用しても、これらと同様の作用、効果を得ることができる。

さらに、各電磁石について適宜グループ分けを行うことで、共通ノードRの中間電圧 V_c を維持するために必要な全電磁石電流 $i_{L\text{tot}}$ を減らすことができる。従って、レギュレータ回路 460を構成するトランジスタ 461、462のサイズを小さく構成できるため、制御装置の一層の小型化を図ることができる。

【0138】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、電磁石を第2の正極から負極に向かう第

1の供給電流と、第2の正極から第1の正極に向かう第1の回生電流により励磁制御し、かつ第2の正極を第2の電圧に維持する第2の電圧発生／維持手段を備えて構成したので、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことができる。

【0139】

また、電磁石の一端を共通のノードとし、このノードを第2の電圧に維持するように構成したので、電磁石とアンプ回路との間を結ぶケーブルの本数を減らし、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させることができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明の第1実施形態の磁気軸受制御回路及び制御回路の構成図
- 【図2】 本発明の第1実施形態のアンプ回路の回路図
- 【図3】 本発明の第1実施形態のアンプ回路の制御を示すタイムチャート
- 【図4】 本発明の第2実施形態のアンプ回路の回路図
- 【図5】 本発明の第3実施形態のアンプ回路の回路図
- 【図6】 ターボ分子ポンプ本体の縦断面図
- 【図7】 従来の磁気軸受制御回路及び制御回路の構成図
- 【図8】 従来のアンプ回路の回路図
- 【図9】 従来のアンプ回路の制御を示すタイムチャート

【符号の説明】

- 100、300 ターボ分子ポンプ本体
- 103 回転体
- 104 上側径方向電磁石
- 105 下側径方向電磁石
- 106A 軸方向電磁石
- 106B 軸方向電磁石
- 151 電磁石巻線
- 170 ケーブル
- 200、400 制御装置
- 201、401 磁気軸受制御回路

2 0 5 電流誤差演算器

2 0 7、4 0 7 パルス制御回路

2 1 0、4 1 0、5 1 0、6 1 0 アンプ回路

4 5 1 中間電圧維持回路

4 5 5 電圧誤差演算器

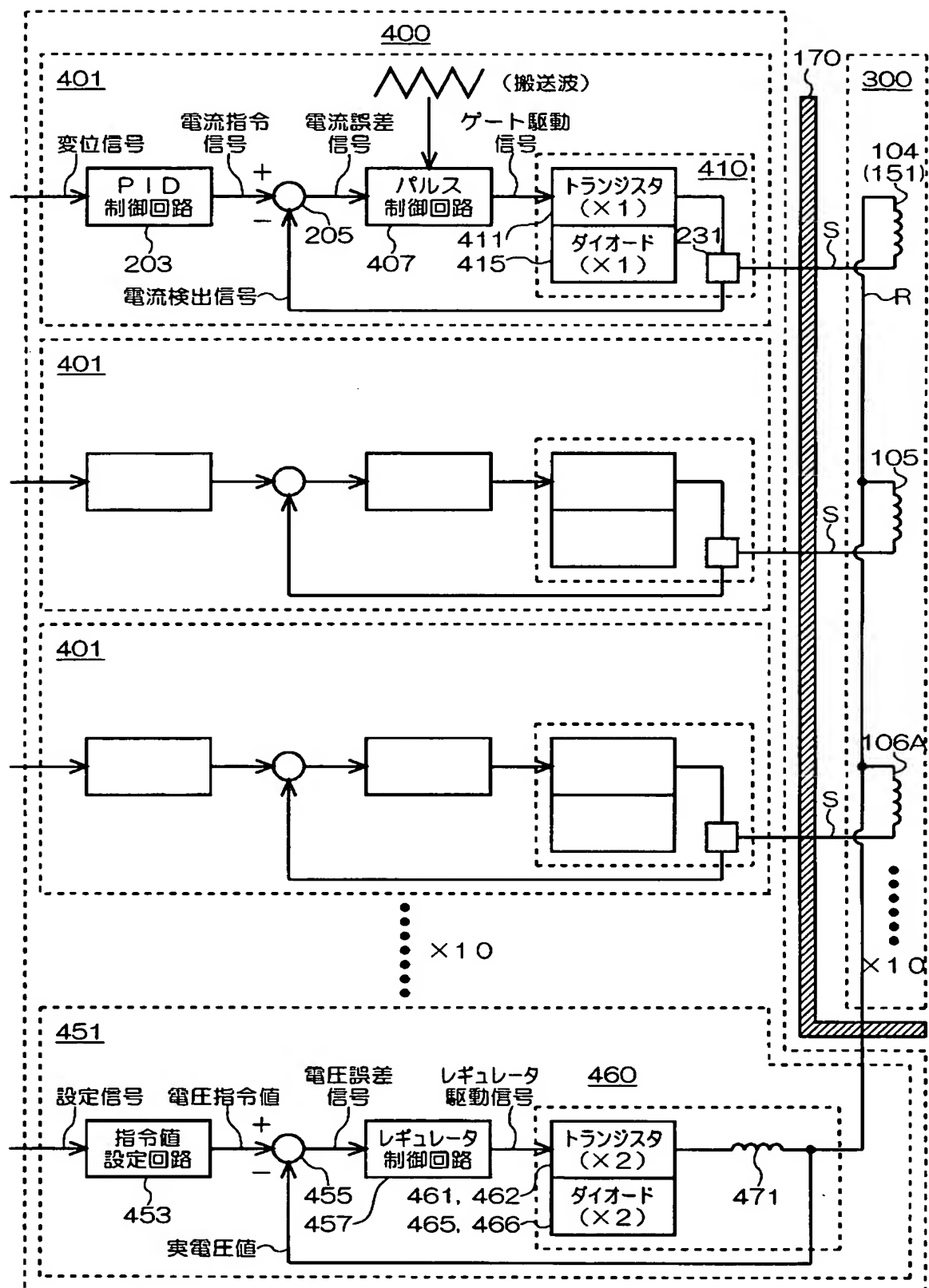
4 5 7 レギュレータ制御回路

4 6 0 レギュレータ回路

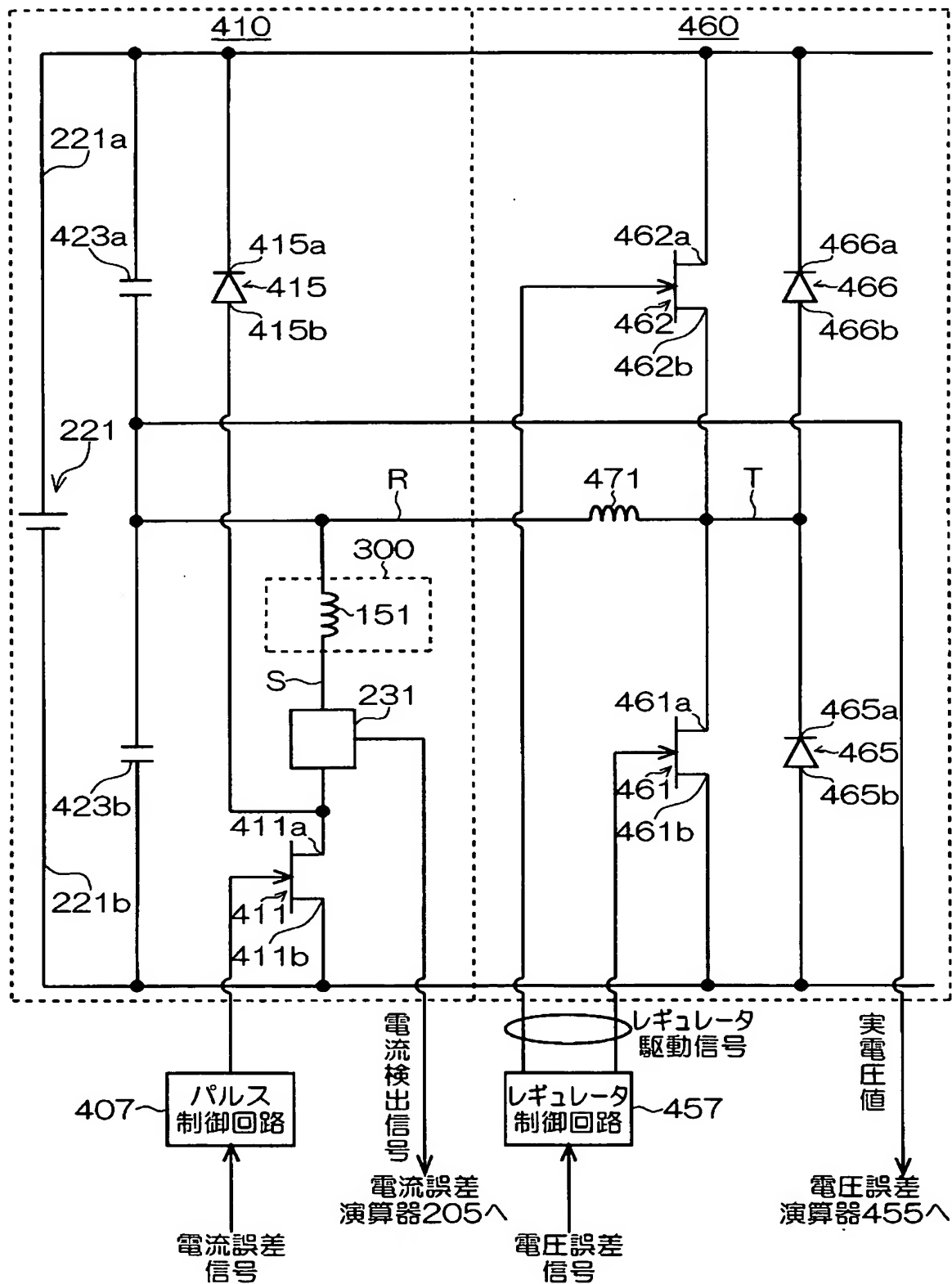
R 共通ノード

【書類名】 図面

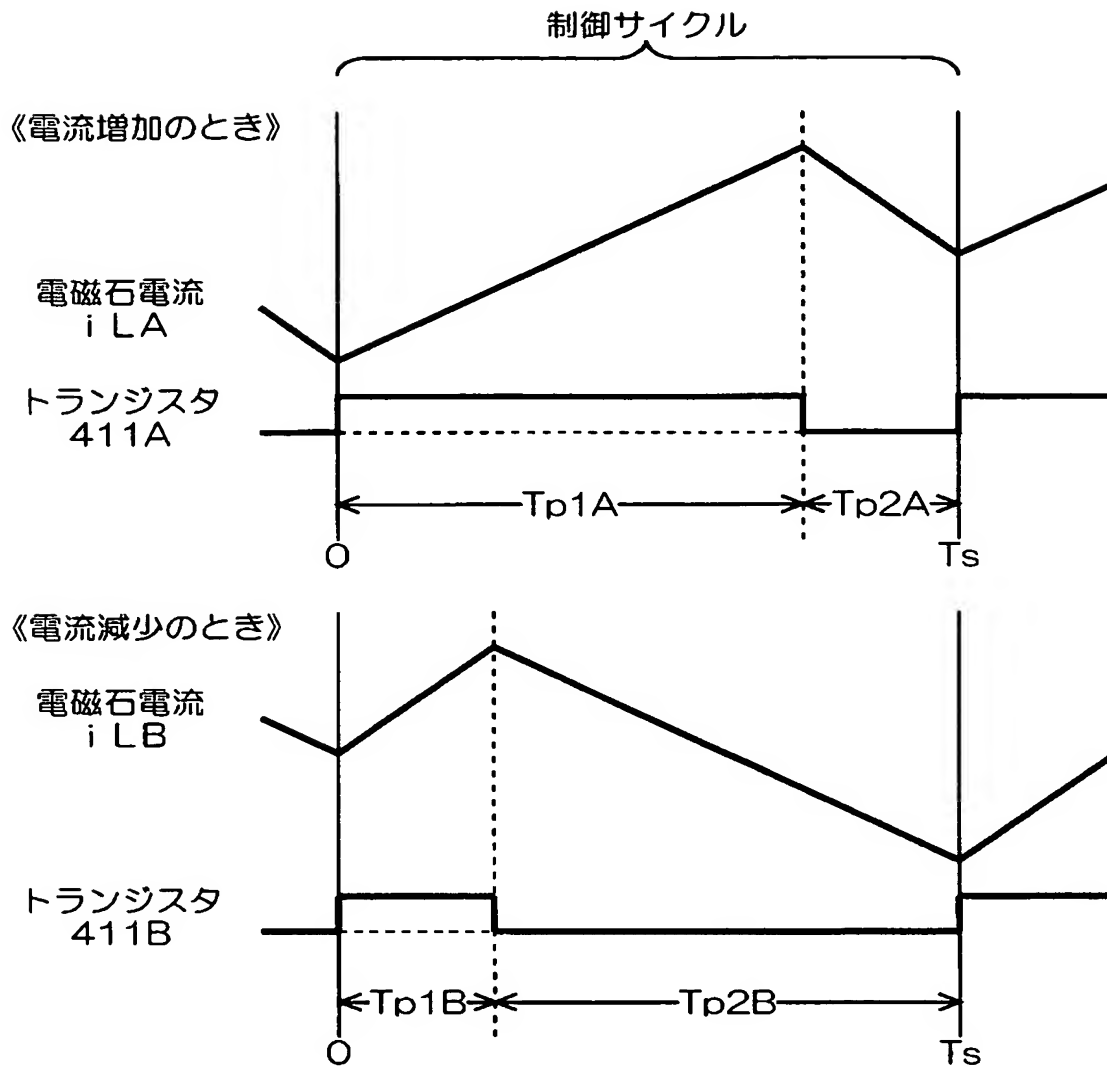
【図 1】



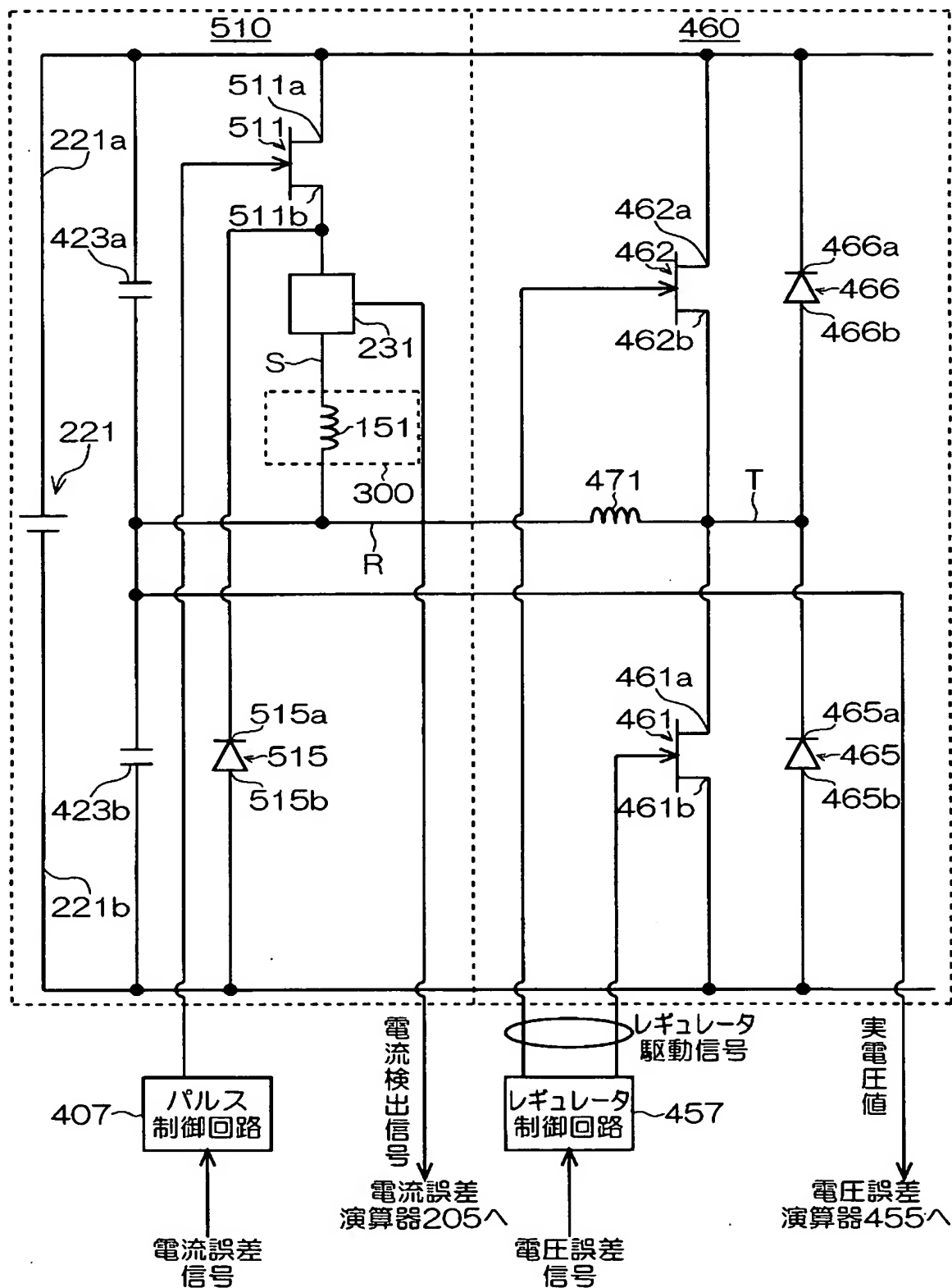
【図 2】



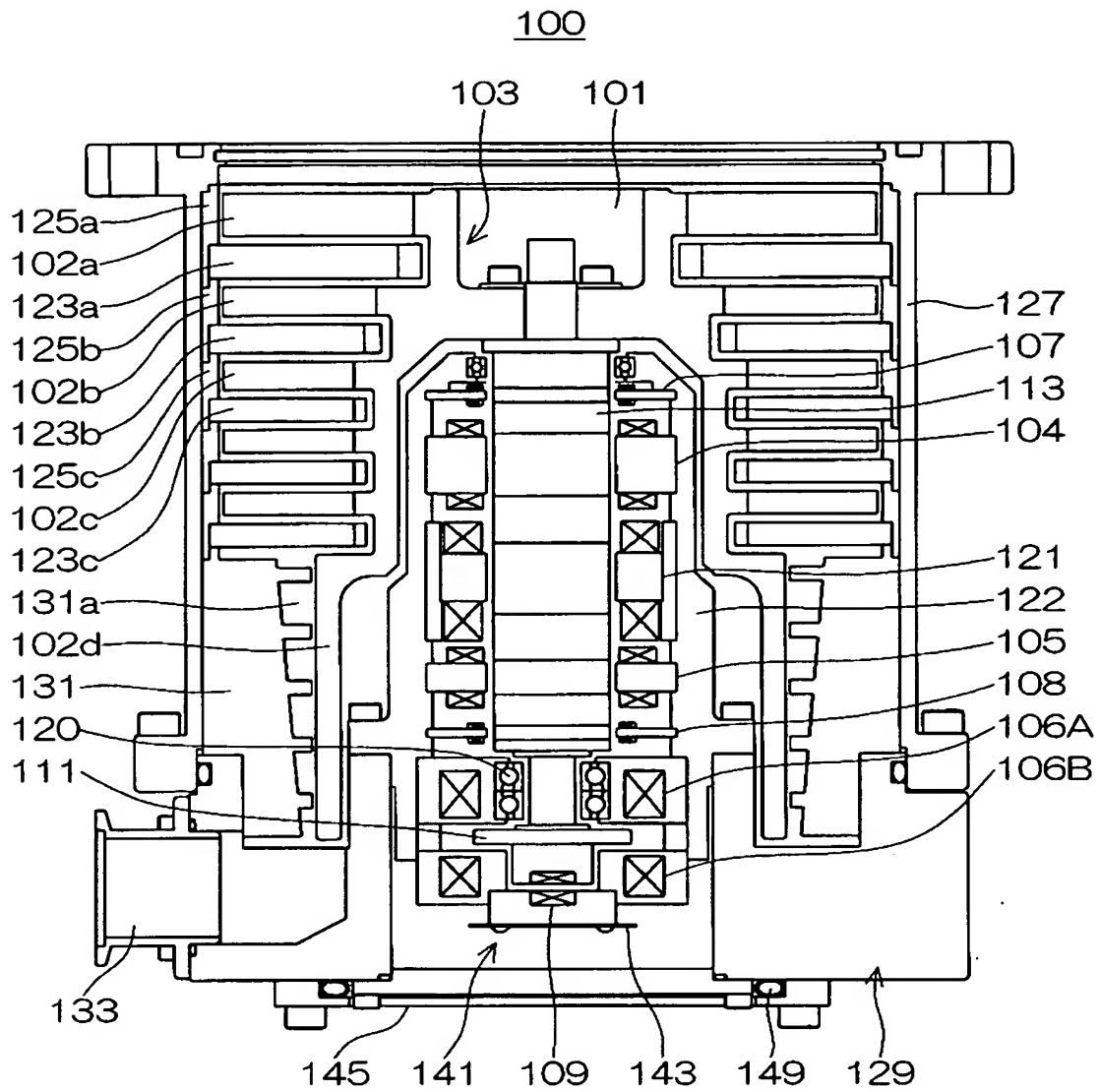
【図 3】



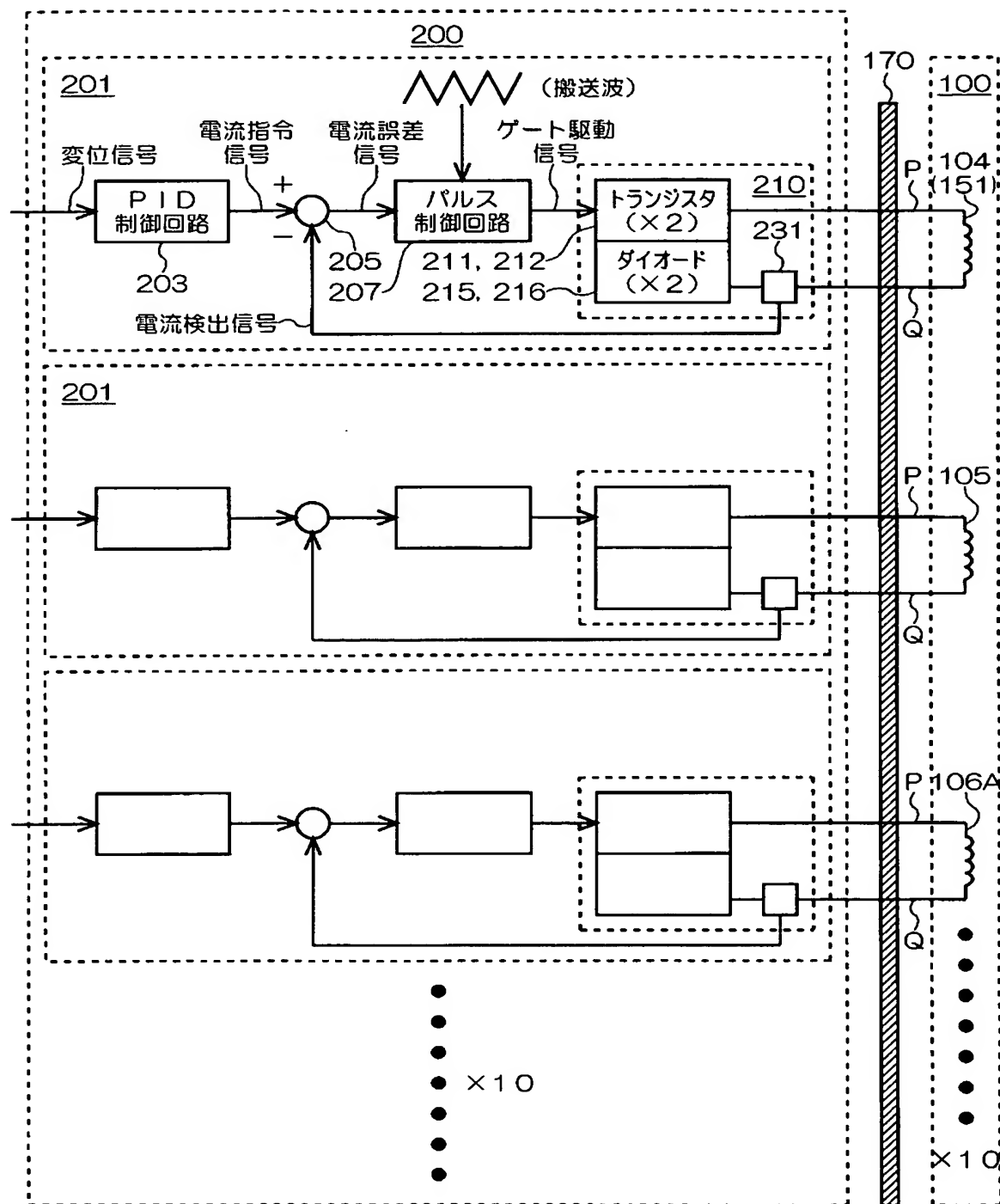
【図 4】



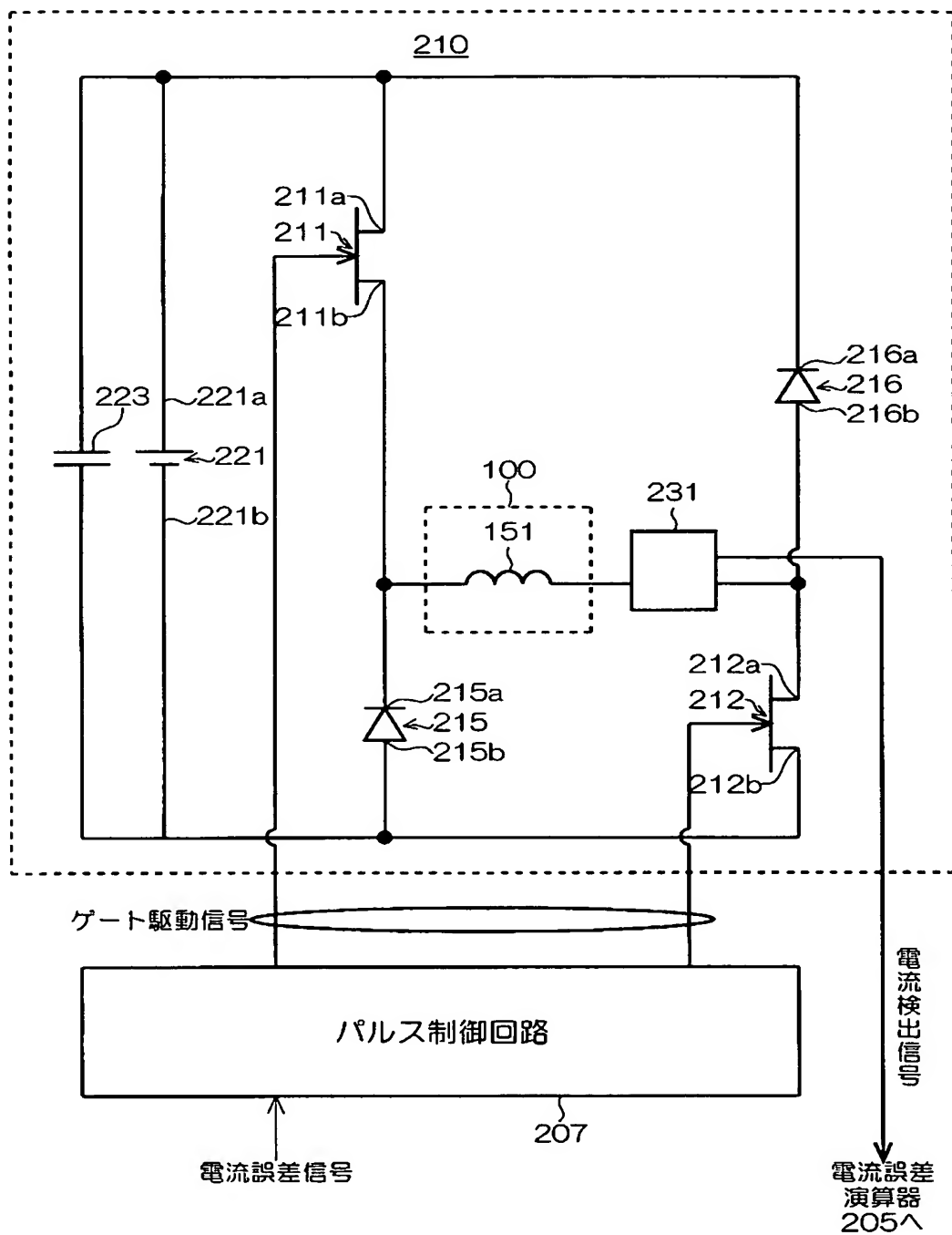
【図 6】



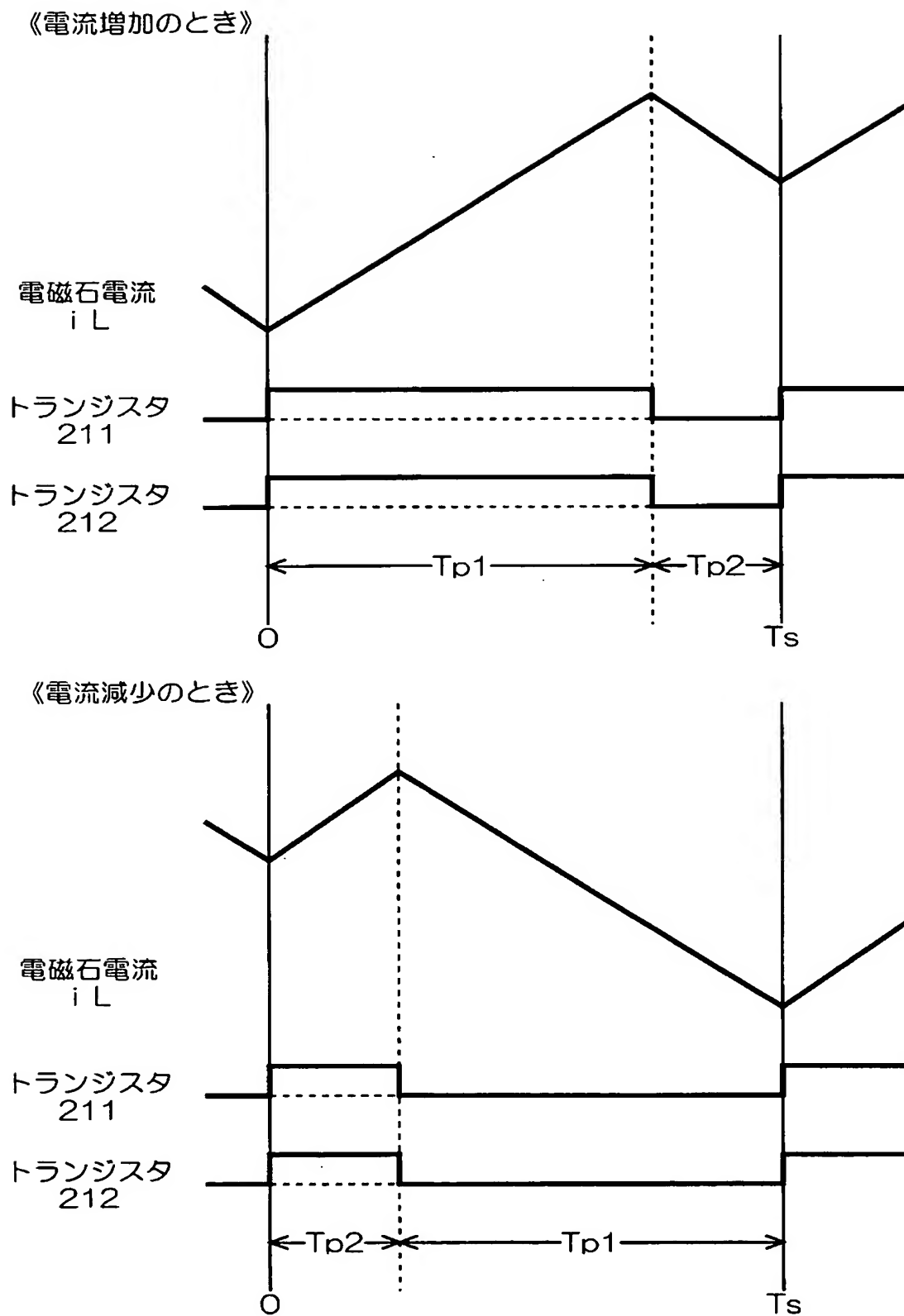
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすとともに、電磁石とアンプ回路との間を結ぶケーブルの本数を減らし、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させることのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプを提供する。

【解決手段】 電磁石巻線 151 は、その一端が共通ノード R に接続されている。また、その他端は、1つのトランジスタ 411 と 1つのダイオード 415 とから構成されるアンプ回路 410 に接続されている。そして、電磁石巻線 151 の一端は、各電磁石において共通となっており、この共通ノード R は、中間電圧維持回路 451 により、中間電圧 V_c を維持するように制御されている。

【選択図】 図 2

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）
【提出日】 平成16年 1月 8日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2003- 75308
【承継人】
【住所又は居所】 東京都港区芝公園二丁目 4 番 1 号 秀和芝パークビル
【氏名又は名称】 B O C エドワーズ株式会社
【代表者】 松葉 直樹
【承継人代理人】
【識別番号】 100105201
【弁理士】
【氏名又は名称】 椎名 正利
【提出物件の目録】
【物件名】 登記簿謄本 1
【援用の表示】 特許第 1 9 2 2 5 7 1 号について平成 1 6 年 1 月 7 日付で提出した特許権移転登録申請書に添付のものを援用する。
【物件名】 委任状 1
【援用の表示】 平成 5 年特許願第 1 1 7 1 9 5 号について平成 1 6 年 1 月 8 日付で提出した手続補足書に添付のものを援用する。

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-075308
受付番号	50400023054
書類名	出願人名義変更届 (一般承継)
担当官	小野塚 芳雄 6590
作成日	平成 16 年 4 月 9 日

<認定情報・付加情報>

【承継人】

【識別番号】	598021579
【住所又は居所】	東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 秀和芝パークビル A-3F
【氏名又は名称】	BOCエドワーズ株式会社
【承継人代理人】	申請人
【識別番号】	100105201
【住所又は居所】	東京都中央区八丁堀 4 丁目 10 番 9 号 林ビル 2 階 椎名国際特許事務所
【氏名又は名称】	椎名 正利

特願 2003-075308

出願人履歴情報

識別番号 [502109614]

1. 変更年月日 2002年 6月21日

[変更理由] 名称変更

住所変更

住 所 千葉県習志野市屋敷4-3-1

氏 名 ビーオーシーエドワーズテクノロジーズ株式会社

特願 2003-075308

出願人履歴情報

識別番号 [598021579]

1. 変更年月日 1998年 2月17日
 [変更理由] 新規登録
 住 所 東京都港区芝公園2丁目4番1号
 氏 名 日本エドワーズ株式会社
2. 変更年月日 2003年 5月22日
 [変更理由] 住所変更
 住 所 東京都港区芝公園2丁目4番1号 秀和芝パークビルA-3F
 氏 名 日本エドワーズ株式会社
3. 変更年月日 2003年12月17日
 [変更理由] 名称変更
 住 所 東京都港区芝公園2丁目4番1号 秀和芝パークビルA-3F
 氏 名 BOCエドワーズ株式会社